

PARTIAL TRANSLATION OF JP 11(1999)-135831 A

Publication Date: May 21, 1999

Patent Application Number: 9(1997)-300099

Filing Date: October 31, 1997

Inventor: Takashi FURUYA et al.

Applicant: HITACHI CABLE

[Title of the Invention] GALLIUM NITRIDE GROUP COMPOUND SEMICONDUCTOR WAFER AND COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT

Page 5, column 7, lines 7-25

[0032]

First, a structure as shown in FIG. 1 was grown by MOCVD. The wafer W1 was heat-treated and placed in a liquid-phase growth furnace using a slide boat. The slide boat has a hollow in which 50 g of Ga melt containing 1 g of GaN powder and 5 mg of Mg (p-type impurities) was put beforehand.

[0033]

FIG. 5 shows a concentration program of the growth. First, nitrogen purge was performed by allowing nitrogen to flow into the furnace at 2 L/min as an atmospheric gas. Then, the furnace was heated to 1000°C while nitrogen flowed into the furnace at 1 L/min. After 180 minutes passed from the beginning of heating, the temperature started to fall at 0.5°C/min. When the furnace was cooled by 5°C and the melt was in the supercooling state, the melt was brought into contact with the wafer, and the temperature was reduced to 950°C. At the time the temperature was 950°C, the wafer was separated from the melt, cooled to room temperature, and then taken out of the furnace.

[0034]

A single Mg-doped GaN layer was deposited on a sapphire substrate, and the electric characteristics were measured with a Pauw method. The result of the measurement showed that the carrier concentration of the Mg-doped GaN layer 8 formed by liquid phase epitaxy was  $4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Moreover, the Mg-doped GaN layer 8 was p-type and had a high carrier concentration even in the as-grown state.

# GALLIUM NITRIDE GROUP COMPOUND SEMICONDUCTOR WAFER AND COMPOUND SEMICONDUCTOR ELEMENT

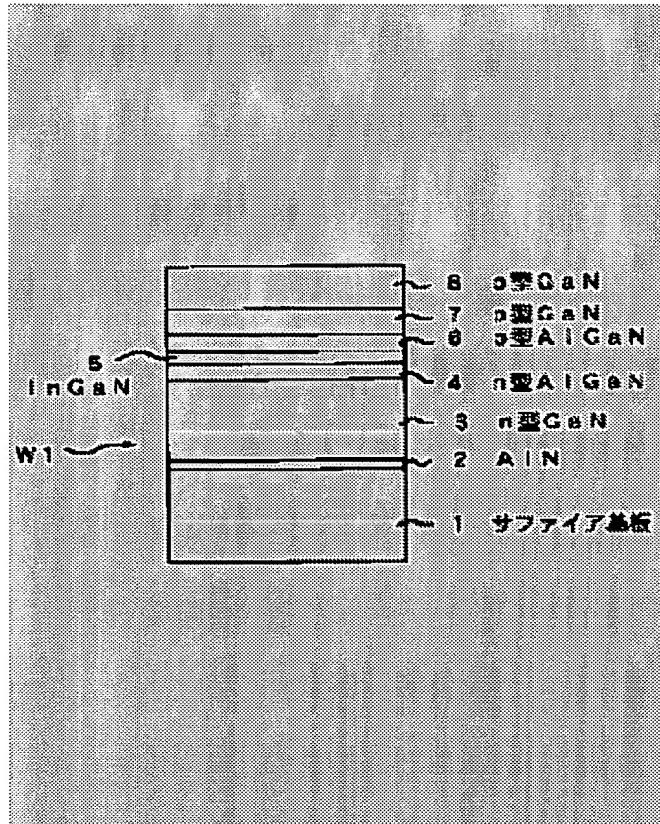
**Patent number:** JP11135831  
**Publication date:** 1999-05-21  
**Inventor:** FURUYA TAKASHI; SHIBATA MASATOMO  
**Applicant:** HITACHI CABLE  
**Classification:**  
- international: H01L21/208; H01L33/00; H01L21/02; H01L33/00;  
(IPC1-7): H01L33/00; H01L21/208; H01S3/18  
- european:  
**Application number:** JP19970300099 19971031  
**Priority number(s):** JP19970300099 19971031

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP11135831

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a wafer for which a gallium nitride group compound semiconductor crystal of high carrier density is grown on the surface.

**SOLUTION:** On the surface of this gallium nitride group compound semiconductor wafer W1 grown through an MOCVD method with good uniformity, a (p)-type GaN layer 8 is grown by a liquid phase growth method with easily producing high carriers. In particular, it is effective for obtaining the gallium nitride group compound semiconductor wafer of a structure provided with a high carrier (p)-type layer on the surface which is difficult to constitute by the MOCVD method.



Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-135831

(43)公開日 平成11年(1999)5月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
H 01 L 33/00  
21/208  
H 01 S 3/18

識別記号

F I  
H 01 L 33/00  
21/208  
H 01 S 3/18

C  
Z

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平9-300099

(22)出願日 平成9年(1997)10月31日

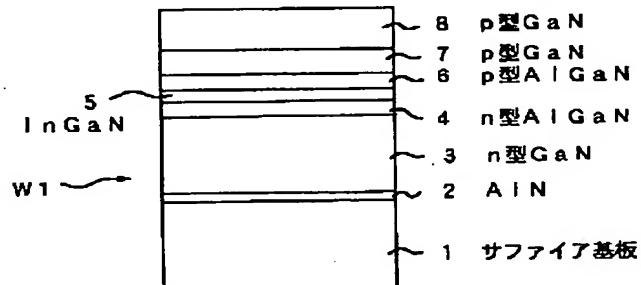
(71)出願人 000005120  
日立電線株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目1番2号  
(72)発明者 古屋 貴士  
茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線  
株式会社アドバンスリサーチセンタ内  
(72)発明者 柴田 真佐知  
茨城県土浦市木田余町3550番地 日立電線  
株式会社アドバンスリサーチセンタ内  
(74)代理人 弁理士 松本 孝

(54)【発明の名称】窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ及び化合物半導体素子

(57)【要約】

【課題】表面にキャリア濃度の高い窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長したウェハを提供することにある。

【解決手段】均一性の良いMOCVD法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体ウェハW1の表面に、高キャリア化が容易な液相成長法で、p型GaN層8を成長させる。特に、MOCVD法では困難な、高キャリアp型層を表面に有する構造の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハを得るのに有効である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハへの表面に、さらに、一般式 $A_{1-a}G_{ab}In_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ）で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項2】少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハへの表面に、さらに、該ウェハの表面層と同じ導電型を有し、一般式 $A_{1-a}G_{ab}In_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ）で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項3】少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハへの表面に、さらに、該ウェハの表面層にドープされている不純物と同じ不純物をドープした、一般式 $A_{1-a}G_{ab}In_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ）で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項4】少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層がp型の導電型を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハへの表面に、さらに、p型の導電型を有する、一般式 $A_{1-a}G_{ab}In_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ）で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項5】少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層にp型の不純物をドープして成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハに、熱処理または電子線照射処理を施して、ウェハ最表面の導電型をp型化した後、その表面に、さらにp型の導電型を有する、一般式 $A_{1-a}G_{ab}In_{1-a-b}N$ （ $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ ）で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半

## 導体ウェハ。

【請求項6】上記p型の導電型を有する窒化ガリウム系化合物半導体層が、不純物として少なくともMgをドープした層であることを特徴とする請求項4または5記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項7】上記窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、ウェハ最表面に液相成長法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体層以外の層は、有機金属気相成長法で成長されていることを特徴とする、請求項1、2、3、4又は5記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

10 【請求項8】有機金属気相成長法にて成長された、少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1-x}G_{ay}In_{1-x-y}N$ （但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ ）で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層がMgをドープしたGaN層から成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハに、熱処理または電子線照射処理を施して、ウェハ最表面の導電型をp型化した後、その表面に、さらにMgをドープしたGaN層を液相成長法により積層した構造を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

20 【請求項9】上記窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、ウェハ最表面に液相成長法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体が、多結晶であることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7又は8記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項10】上記窒化ガリウム系化合物半導体層は、絶縁性の基板上に成長されていることを特徴とする、請求項1、2、3、4、5、6、7、8又は9記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ。

【請求項11】請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9又は10に記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの、少なくとも最表面に接して電極を形成し、作製された窒化ガリウム系化合物半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、窒化ガリウム系化合物半導体ウェハ及び窒化ガリウム系化合物半導体素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長させる方法として、一般に有機金属気相成長法（MOCVD法）が知られている。この結晶成長方法は、反応炉内で加熱状態にある結晶基板上に、トリメチルガリウム（TMG）、トリメチルアルミニウム（TMA）、トリメチルインジウム（TMI）等のIII族原料とアンモニア（NH<sub>3</sub>）等のV族原料を水素ガス等のキャリアガスで送り込み、これらの原料ガスを結晶基板上で熱分解させ、結晶を成長させる方法である。MOCVD法は、成長膜厚の制御性がよく、また、伝導型の異なる結晶や混

晶結晶の積層成長が容易に行えるという利点があり、現在、この方法を用いて窒化ガリウム系化合物半導体結晶の積層成長が行われ、発光素子などが作製されている。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のMOCVD法で窒化ガリウム系化合物半導体結晶の成長を行うと、p型結晶の成長に問題が生じている。MOCVD法でp型結晶を成長させる場合、MgやZn等のp型不純物をドープしてp型化を図っているが、実際にはp型結晶にはならず、非常にキャリア濃度が低い絶縁体に近いi型結晶になってしまう。MOCVD法で成長を行うと、結晶中に不純物として水素が入るのが避けられず、これが原因となってp型結晶の高キャリア化が難しいといった問題を生じている。従って、MOCVD法でp型結晶を作製する場合、成長した結晶をp型化するために、成長後に熱アニール処理や電子線照射処理といった工程を行わなければならない。ところが、これらの工程を行っても、得られたp型結晶のキャリア濃度はそれほど高くならないため、これに電極を形成する発光素子などのデバイス作製時に、電極と半導体層間の接触抵抗が大きい、p層で電流分散し辛いといった問題が生じ、発光特性に悪影響を及ぼす。

【0004】そこで、本発明は前述のような従来技術の問題点を解消し、表面にキャリア濃度の高い窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長したウェハおよびこれを利用した窒化ガリウム系化合物半導体素子を提供することにある。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハは、次のように構成される。

【0006】(1)少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの表面に、さらに、一般式 $A_{1a}G_{ab}I_{n1-a-b}N$ ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する(請求項1)。

【0007】(2)少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの表面に、さらに、該ウェハの表面層と同じ導電型を有し、一般式 $A_{1a}G_{ab}I_{n1-a-b}N$ ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する。

【0008】(3)少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、

$0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの表面に、さらに、該ウェハの表面層にドープされている不純物と同じ不純物をドープした、一般式 $A_{1a}G_{ab}I_{n1-a-b}N$ ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する。

【0009】(4)少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層がp型の導電型を有する窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの表面に、さらに、p型の導電型を有する、一般式 $A_{1a}G_{ab}I_{n1-a-b}N$ ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する。

【0010】(5)少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層にp型の不純物をドープして成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハに、熱処理または電子線照射処理を施して、ウェハ最表面の導電型をp型化した後、その表面に、さらにp型の導電型を有する、一般式 $A_{1a}G_{ab}I_{n1-a-b}N$ ( $0 \leq a \leq 1$ 、 $0 < b \leq 1$ 、 $a + b \leq 1$ )で表される窒化ガリウム系化合物半導体層を、液相成長法により積層した構造を有する。

【0011】(6)請求項4または5記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、上記p型の導電型を有する窒化ガリウム系化合物半導体層が、不純物として少なくともMgをドープした層である。

【0012】(7)請求項1～5記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、ウェハ最表面に液相成長法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体層以外の層は、有機金属気相成長法(MOCVD法)で成長されている。

【0013】(8)有機金属気相成長法にて成長された、少なくともn型およびp型の不純物をドープした一般式 $A_{1x}G_{ay}I_{n1-x-y}N$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $x + y \leq 1$ )で表せる窒化ガリウム系化合物半導体を積層成長して成り、かつその最表面層がMgをドープしたGaN層から成る窒化ガリウム系化合物半導体ウェハに、熱処理または電子線照射処理を施して、ウェハ最表面の導電型をp型化した後、その表面に、さらにMgをドープしたGaN層を液相成長法により積層した構造を有する。

【0014】(9)請求項1～8のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、ウェハ最表面に液相成長法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体

が、多結晶である。

【0015】(10)請求項1～9のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハにおいて、上記窒化ガリウム系化合物半導体層は、絶縁性の基板上に成長されている。

【0016】(11)請求項1～10のいずれかに記載の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの、少なくとも最表面に接して電極を形成し、作製された窒化ガリウム系化合物半導体素子とする。

【0017】本発明の要点は、均一性の良いMOCVD法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体結晶の表面に、高キャリア化が容易な液相成長法で窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長させたことにある。特に、MOCVD法では困難な、高キャリアp型層を表面に有する構造の窒化ガリウム系化合物半導体結晶に有効である。

【0018】液相成長法は、MOCVD法とは異なり、原料に水素化物を用いずに窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長できるため、成長した結晶中に水素が取り込まれることがない。よって、p型結晶の高キャリア化の妨げとなっていた水素の混入が無くなるため、成長した後に熱アニール処理や電子線照射を行わなくともp型結晶を得ることが可能となる。さらに、キャリア濃度がMOCVD法で成長したものよりも高くなるため、この層に電極を形成する発光素子などのデバイス作製時に、電極と半導体層間の接触抵抗が小さい、p層で電流分散しやすいといったメリットがある。

【0019】表面に液相法で高キャリア層を成長させる目的は、窒化ガリウム系化合物半導体結晶と金属電極との接触抵抗を下げ、かつ該表面層中の電流分散を効率よく行わせることにあるので、必ずしも単結晶膜である必要はない。

#### 【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、図示の実施例を中心として説明する。

【0021】(従来例)従来技術である有機金属気相成長法(MOCVD法)を用いて、サファイア基板1上に、図2に示すようなダブルヘテロ(DH)構造の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハW1を積層成長した。このウェハW1には、サファイアc面が基板として用いられ、そのサファイア基板1上に、600℃でAlNバッファ層2を400Å成長し、次に1000℃でSiドープのn型GaN層3を4μm、Siドープのn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層4を0.2μm成長し、さらに800℃でZnドープのIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層5を200Å成長した後、1000℃でMgドープのAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層6を0.2μm、MgドープのGaN層7を0.5μm成長させたものである。さらに、このウェハには、窒素雰囲気中で400℃、30分間の熱アニール処理を施し、Mgドープ層のp型化を行った。

【0022】最表面のp型GaN層7のキャリア濃度

は、p型GaN層をサファイア基板上に一層だけ成長して、パウ法で測定した結果から、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であると推定される。

【0023】この基板の表面層に、ニッケル(Ni)500Åと金(Au)1μmの積層構造から成るドット電極を蒸着し、500℃で5分間熱処理を施して、電極間の抵抗を測定し、最表面層と電極との接触抵抗を求めたところ、 $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ であった。

【0024】次に、オーミック電極を付けるため、本ウェハW1の表面の一部を反応性イオンエッチング(RIE)法でエッチングして除去し、n型GaN層3を露出させた後、図4の如く、n型GaN層3の表面にはチタン(Ti)とアルミニウム(Al)との積層構造から成るn型電極10を、p型層の表面の一部にはニッケル(Ni)と金(Au)の積層構造から成るp型電極9を付けて、LEDチップ(窒化ガリウム系化合物半導体素子)12を作製した。

【0025】このLEDチップ12に通電し、発光を観察したところ、発光しているのはp型電極9の直下と、その周辺部だけであった。このLEDを積分球に入れ、発光出力を測定したところ、20mA通電時で0.02mWであった。

【0026】(実施例1)本発明の第1の実施例について述べる。図1に、本実施例で製作したウェハW2の断面構造を示す。

【0027】このウェハW2は、そのサファイア基板1からp型GaN層7までの部分を、上述の従来例とまったく同じMOCVD法で作製し、これにより作製されたウェハW1の表面に、さらにMgドープのGaN層8を30スライドポート式の液相成長炉で1μm成長した構造となっている。

【0028】まず、ウェハW1の部分、つまり図2に示したMOCVD法成長ウェハを作製し、熱処理を行った。

【0029】詳述するに、従来技術であるMOCVD法を用いて、まずサファイア基板1上に図2に示したのと同じダブルヘテロ(DH)構造の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハW1を積層成長した。本ウェハW1は、サファイアc面を基板として用い、そのサファイア基板1上に、600℃でAlNバッファ層2を400Å成長し、次に1000℃でSiドープのn型GaN層3を4μm、Siドープのn型Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層4を0.2μm成長し、さらに800℃でZnドープのIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N層5を200Å成長した後、1000℃でMgドープのAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>N層6を0.2μm、MgドープのGaN層7を0.5μm成長させたものである。さらに、このウェハには、窒素雰囲気中で400℃、30分間の熱アニール処理を施し、Mgドープ層のp型化を行った。

【0030】上記熱処理を行った後、そのウェハW1の

表面に、さらにMgドープのGaN層8をスライドポート式の液相成長炉で $1\text{ }\mu\text{m}$ 成長した。このMgドープのGaN層8を液相成長法で成長させた後のウェハW2の断面構造を図1に示す。

【0031】この液相成長法での成長手順は以下の通りである。

【0032】先ず、図1に示した構造をMOCVD法で成長し、熱処理を施したウェハW1をスライドポート式の液相成長炉に設置した。予めスライドポートの溶液だめには、GaN粉末1gとp型不純物となるMg 5mgを添加したGaNメルト50gをチャージしておいた。

【0033】図5に成長の濃度プログラムを示す。先ず、雰囲気ガスとして窒素を毎分 $2\text{ L}/\text{min}$ で流し炉内の窒素バージを行った。次に窒素を毎分 $1\text{ L}/\text{min}$ で流しながら炉を $1000^\circ\text{C}$ まで加熱し、加熱開始時から180分経過した時点で、 $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$ の割合で降温を開始した。過冷却を $5^\circ\text{C}$ つけた時点でメルトをウェハに接触させ、 $950^\circ\text{C}$ まで降温した。 $950^\circ\text{C}$ になった時点でウェハとメルトの接触を断ち、その後は室温近くまで冷却してウェハを取り出した。

【0034】液相成長法で作製したMgドープのGaN層8のキャリア濃度は、サファイア基板上にMgドープのGaN層を1層だけ成長し、電気特性をパウ法にて測定した結果から、 $4 \times 10^{18}\text{ cm}^{-3}$ とわかつておらず、アズグロウンの状態でも高キャリア濃度のp型を示す。

【0035】上述の方法で作製したエピウェハW2に関して、従来例で述べたものと同じ評価を行った。即ち、基板の表面層に、ニッケル(Ni) 500Åと金(Au)  $1\text{ }\mu\text{m}$ の積層構造にドット電極を蒸着し、 $500^\circ\text{C}$ で5分間熱処理を施して、電極間の抵抗を測定し、最表面層と電極との接触抵抗を求めた。その結果、液相成長したMgドープのGaN層8と電極との接触抵抗は、 $2 \times 10^{-5}\text{ }\Omega \cdot \text{cm}^2$ であり、従来例の $1/5$ であった。

【0036】次に、本ウェハW2の表面の一部を反応性イオンエッティング(RIE)法でエッティングして除去し、n型GaN層3を露出させた後、図3に示すように、n型GaN層3の表面にはチタン(Ti)とアルミニウム(Al)との積層構造から成るn型電極10を、またp型GaN層8の表面の一部にはニッケル(Ni)と金(Au)の積層構造から成るp型電極9を付けて、LEDチップ(発光ダイオード)11を作製した。

【0037】このLEDチップ11に通電し、発光を観察したところ、InGaN層(活性層)5の全面で発光していることが観察され、その発光出力は $20\text{ mA}$ 通電時で $2\text{ mW}$ と、従来例の $100$ 倍の出力であった。

【0038】(実施例2) 図2に示したダブルヘテロ構造の窒化物半導体ウェハW1を、従来例と同じようにMOCVD法で積層成長し、熱処理を行った。

【0039】次にこのウェハW1を、図6に示すような液相成長炉に設置し、表面に液相成長法でMgドープの

p型GaN層8を成長した。以下に液相成長の手順を示す。

【0040】先ず石英ルツボ21内にGaN粉末5gと、p型不純物となるMg 0.2gを添加したGaNメルト22を $300\text{ g}$ チャージした。次に、石英ルツボ21内を窒素ガス $0.5\text{ L}/\text{min}$ で十分リバージし、その後、窒素ガス導入配管25より窒素を $0.2\text{ L}/\text{min}$ 流して排気配管26で排気しながら、加熱ヒータ24で、GaNメルト22を $1200^\circ\text{C}$ まで加熱した。 $1200^\circ\text{C}$ で $60\text{ min}$ 保持したあと、 $-100^\circ\text{C}/\text{hr}$ の割合で $90^\circ\text{C}$ まで降温した。その後、加熱ヒータ24による加熱を中止して室温まで冷却し、GaNメルト22中からウェハW1を取り出した。

【0041】取り出したウェハW1の表面は熱処理などを行わずともp型の導電型を示した。さらに、取り出したウェハを用いて、上記実施例1と同様の手法でLEDチップ11を作製し、その発光出力を測定した。その結果、このLEDチップ11は、従来例1で示した発光ダイオードに比べ約20倍高い出力が得られた。

【0042】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、次のような優れた効果が得られる。

【0043】請求項1～10に記載の発明によれば、均一性の良いMOCVD法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体結晶の表面に、高キャリア化が容易な液相成長法で、窒化ガリウム系化合物半導体結晶を成長させた構造を有するので、表面に高キャリア濃度のp型の導電性を有する窒化ガリウム系化合物半導体結晶を、容易かつ再現良く得ることが可能である。その結果、かかる結晶を用いて素子を作製した場合、p型層と電極との接触抵抗が大幅に低減し、さらにp型層中の電流分散が十分に行われるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例にかかる窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの断面構造図である。

【図2】本発明の前提となる従来技術にかかるMOCVD法で成長した窒化ガリウム系化合物半導体ウェハの断面構造図である。

【図3】本発明の一実施例にかかる窒化ガリウム系化合物半導体素子の断面構造図である。

【図4】従来技術にかかるMOCVD法で成長したウェハを用いた窒化ガリウム系化合物半導体素子の断面構造図である。

【図5】本発明の一実施例の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハを作製する際の、液相成長法における濃度プログラムを示した図である。

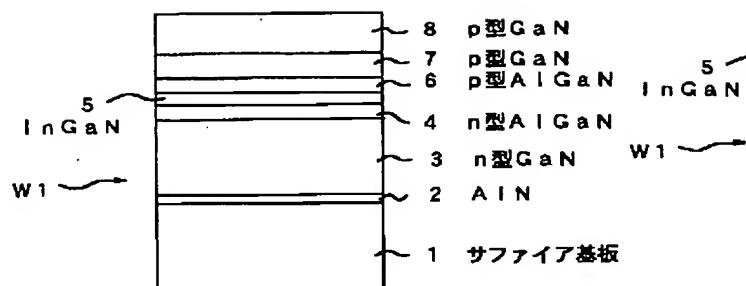
【図6】本発明の他の実施例の窒化ガリウム系化合物半導体ウェハを作製する際に使用した液相成長炉の構成図である。

【符号の説明】

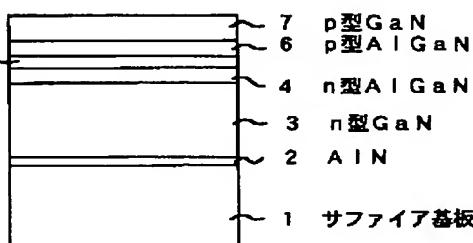
- 1 サファイア基板
- 2 AlNバッファ層
- 3 n型GaN層
- 4 n型AlGaN層
- 5 InGaN層
- 6 p型AlGaN層
- 7 p型GaN層
- 8 液相成長法で成長させたp型GaN層
- 9 p型電極

- 10 n型電極
- 11、12 LEDチップ(発光ダイオード)
- 21 石英ルツボ
- 22 Gaメルト
- 23 MOCVDで成長した結晶基板
- 24 加熱ヒータ
- 25 氮素ガス導入配管
- 26 排気配管
- W1、W2 ウェハ

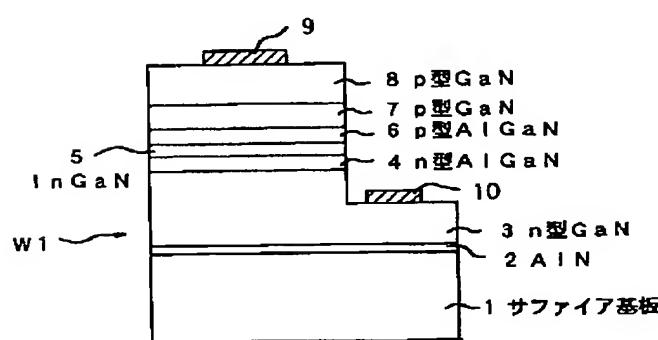
【図1】



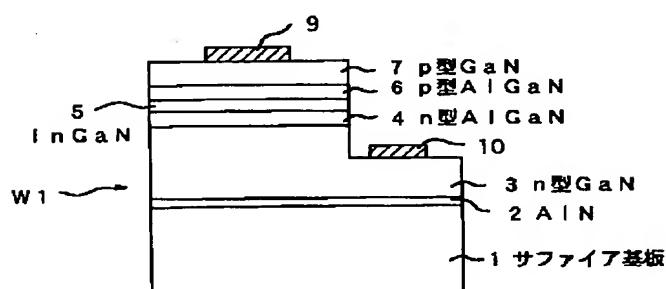
【図2】



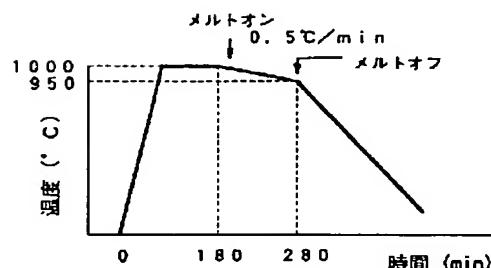
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

